



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



5TH EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE AND PLANNING

RUFINO J. HERNÁNDEZ MINGUILLÓN, VÍCTOR ARAÚJO CORRAL, RAFFAELINA LOI (Editors)

EDITORES

Rufino J. Hernández Minguillón
Víctor Araújo Corral
Raffaelina Loi

DISEÑO Y COORDINACIÓN

Víctor Araújo Corral
Raffaelina Loi
Sara de Maintenant López

EDITA

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea,
Servicio Editorial/Argitalpen Zerbitzua , 2014.
ISBN: 978-84-9082-003-2
Depósito legal/Lege gordailua: BI-1046-2014

**5TH EUROPEAN CONFERENCE
ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY
IN ARCHITECTURE AND PLANNING**

5º CONGRESO EUROPEO
SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD
EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

Donostia-San Sebastián, 7 - 9 Julio 2014

Lean architecture, lean urban planning

XXXIII Cursos de Verano / XXXIII. Uda Ikastaroak
XXVI Cursos europeos / XXVI. Europar Ikastaroak

COMITÉ ORGANIZADOR
ORGANIZING COMMITTEE

Rufino J. Hernández Minguillón
Doctor Arquitecto. Escuela Técnica Superior de
Arquitectura de San Sebastián

Raffaelina Loi
Investigadora grupo caviar UPV/EHU

Víctor Araújo
Investigador grupo caviar UPV/EHU

Iñaki Mendizabal
Doctor Arquitecto. Escuela Técnica Superior de
Arquitectura de San Sebastián

COMITÉ TÉCNICO
TECHNICAL COMMITTEE

Sara de Maintenant López

Haritz Pérez Berra

COMITÉ CIENTÍFICO
SCIENTIFIC COMMITTEE

Servando Álvarez
Universidad de Sevilla

Fernando Bajo
UPV/EHU

Eduardo de Oliveira
Universidade de Porto. Agencia de Energía de Porto

Víctor Echarri
Universidad de Alicante

Helena Granados
Arquitecta

Agustín Hernández
Universidad Politécnica de Madrid

Rufino J. Hernández
UPV/EHU

Jose María Sala
UPV/EHU

Matheos Santamouris
Universidad de Atenas

Alvaro Soto
Universidad Politécnica de Madrid

Isabela Velazquez
Arquitecta

INDEX

9 **presentación** introduction

comunicaciones papers

- 11 **ACERO ALEJANDRO, JUAN ANGEL**
Metodologías de evaluación del confort térmico exterior para el diseño urbano
Outdoor thermal comfort evaluation methods for urban design
- 19 **ADARVE GÓMEZ, AGUSTÍN**
Validación experimental del cálculo CFD de ventilación natural del mall de un centro comercial en Mosquera, Colombia
Experimental validation of the CFD calculation of the natural ventilation system of shopping mall in Mosquera, Colombia
- 27 **ALONSO CALVO, CARLOS**
Análisis de soluciones constructivas en el casco histórico de Cáceres desde el punto de vista de la rehabilitación energética y su amortización económica.
Analysis of building solutions in the historic city centre of Cáceres from the point of view of energy restoration and its economic repayment
- 35 **ALVAREZ RABANAL, FELIPE**
Análisis del comportamiento térmico de forjados mixtos colaborantes ligeros mediante simulación numérica
Thermal analysis of lightweight composite slabs by numerical simulation
- 43 **ARREGI GOIKOLEA, BEÑAT**
Planteamiento innovador para la rehabilitación energética de casas en hilera históricas de Dublín mediante SATE con extracción localizada integrada
Innovative large-scale approach to external wall insulation retrofit of historic Dublin terraces with integrated extract ventilation
- 53 **BARRIOS PADURA, ANGELA**
El empleo del plástico reciclado en la rehabilitación energética de los edificios. Una apuesta por la sostenibilidad
Employment of recycled plastic in buildings' energy rehabilitation. A sustainability commitment
- 63 **BATEY, MATT**
Uso innovador de dispositivos TIC tradicionales para descubrir patrones de uso y mejorar la eficiencia energética en edificios de oficinas
Innovative use of traditional ICT devices to uncover spaces' usage patterns and improve energy efficiency in office buildings
- 73 **DE ISLA GOMEZ, ANA BELEN**
e2CO2cero: calculando la Energía Embebida y la Huella de Carbono de la Edificación
e2CO2cero: Embedded Energy and Carbon Footprint of Buildings
- 81 **DEL AMA GONZALO, FERNANDO**
Producción y gestión de energía en edificios. Vidrios Activos con cámara de agua en circulación
Energy production and management in buildings. Active glazing with water flow chamber
- 89 **FONTELA MARTINEZ, MIGUEL**
Distrito del Futuro - DoF, framework abierto para la optimización de la generación y consumo de energía en las ciudades
District of Future - DoF, open framework for the generation and optimization of energy consumption in city environments
- 97 **GARCIA LOPEZ, ELISA DE LSO REYES**
RE- Reconversión urbana y reutilización material en los antiguos astilleros de El Natahoyo en Gijón, Asturias
RE- Materials reuse and regional transformation scheme in former shipyards in El Natahoyo in Gijón, Asturias
- 107 **GONZALEZ BARROSO, JOSE Mª**
El 'Diseño para la desconstrucción', una metodología Lean
The 'Design for disassembly', a Lean methodology

- 119 **HERNANDEZ CABRERA, MIRIAM**
Evolución de las condiciones energéticas en el ensanche de San Sebastián. Zonificación energética
Evolution of energy conditions in San Sebastian's extension. Energy zoning
- 129 **JORGE CAMACHO, CRISTINA**
La concentración de recursos energéticos en islas de paisaje a través del estudio de organismos microscópicos
The energy concentration resources in landscape islands through the analysis of microscopic organisms
- 143 **MÍNGUEZ MARTÍNEZ, ENRIQUE**
Estrategias de revitalización para una ciudad eficiente. Sistema de Polinúcleos Sostenibles
Revitalization strategies for an efficient city. Sustainable polinucleos system
- 155 **MOLINERO AGUIRRE, ITXASO**
Identificación de las áreas rurales. Metodología y el caso del País Vasco
Identifying rural areas. Methodology and the Basque Country case
- 163 **PATÍÑO CAMBEIRO, FAUSTINO**
Implantación de mejoras en la búsqueda del consumo energético casi nulo para edificios de viviendas ¿Intervenciones activas o pasivas?
Implementation of improvements searching for residential buildings with consumption almost zero energy. Interventions active or passive?
- 177 **PEREZ GULIN, JUAN MARCOS**
Entendiendo las ciudades. Una metodología para la visualización de información urbana y el diseño de indicadores útiles para su gestión
Understanding cities. A methodology for urban data visualization and designing useful indicators for city management
- 187 **POMBO RODILLA, OLATZ**
Estudio energético y económico de la rehabilitación de la fachada de un edificio residencial en Madrid
Energy and economic survey of the renovation of a residential building wall in Madrid
- 195 **RODRIGUEZ RODRIGUEZ, FRANCISCO JAVIER**
La Certificación en Sostenibilidad LEED de un Centro Logístico textil: Ejemplo de actuación durante la obra para la consecución de créditos
The Certification in Sustainability LEED of a Logistic textile Center: Example of action during the work for the credits attainment
- 203 **URANGA SANTAMARIA, ENEKO JOKIN**
Beneficios y riesgos de la rehabilitación energética en el patrimonio edificado: 5 grados de intervención
Benefits and risks of energy rehabilitation in built heritage: 5 intervention degrees
- 211 **VALBUENA GARCIA, FRANCISCO**
La experiencia del Edificio LUCIA: estrategias imprescindibles de sostenibilidad para conseguir Edificios De Energía Casi Nula
LUCIA Building experience: essential strategies for sustainability to achieve Near Zero Energy Buildings

pósters

- 220 **CIGANDA URDIAIN, I.**
S.U.T. herramienta informática libre para análisis, visualización y evaluación de sostenibilidad global (medioambiental, económica y social).
S.U.T. Freeware tool for analysis, visualization and evaluation of global sustainability (environmental, economic and social)
- 222 **MASEDA, JOSE M.**
Categorización de Edificios en Altura con Potencial Impacto en Ahorro Energético
Categorization of High Rise Buildings with Highest Impact on the Energy Conservation Potential

Nuestro agradecimiento a las instituciones y empresas que colaboran con la quinta edición del Congreso:

Our sincere gratitude to all the institutions and companies that collaborate in the fifth edition of the Conference:

Colaboradores institucionales

Institutional partners



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO CAMPUSEKO ERREKTOREORDETZA
VICERRECTORADO DEL CAMPUS DE GIPUZKOA

IKERKETAREN ARLOKO ERREKTOREORDETZA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ARKITEKTURA SAILA
VDEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA

ARKITEKTURA GOI ESKOLA TEKNIKOA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



Patrocinador Platino

Platinum sponsor



Patrocinador Oro

Gold Sponsor



Leantricity
cut your network's energy waste

Media partners



Estudio energético y económico de la rehabilitación de la fachada de un edificio residencial en Madrid

Energy and economic survey of the renovation of a residential building wall in Madrid

Olatz Pombo¹, Federico García-Erviti¹, Beatriz Rivela², Javier Neila¹

ABSTRACT

La edificación es un sector de enorme influencia en la evolución del consumo de energía y las emisiones de CO₂. Teniendo en cuenta que en estos momentos hay 3,5 millones de viviendas vacías y que los próximos años no va a haber un aumento en la demanda de vivienda nueva, la rehabilitación sostenible del parque residencial existente es una tarea prioritaria y sobre la que hay que prestar especial interés. Durante la última década, diversos municipios han puesto en marcha programas pioneros y las administraciones públicas han empezado a promover ayudas económicas para el fomento de la rehabilitación. Sin embargo, la actividad de rehabilitación en nuestro país todavía es baja. Dado que aún queda mucho donde actuar, es necesario hacer una reflexión sobre cómo se está rehabilitando para poder mejorar en el futuro. Por ello, el objetivo del presente trabajo es analizar algunas estrategias adoptadas hasta ahora en el parque inmobiliario y su aplicación en un caso de estudio, mediante la mejora de la fachada de un edificio de viviendas situado en Madrid. Partiendo de una revisión exhaustiva de los proyectos llevados a cabo por distintas entidades públicas, así como del estudio de más de 50 edificios residenciales privados rehabilitados con financiación de la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo (EMVS) de Madrid, se han identificado las principales soluciones adoptadas. A menudo, la rehabilitación con mejora energética ha venido motivada por una ITE (Inspección Técnica de los Edificios) desfavorable. Ante la obligatoriedad de rehabilitar ciertos elementos del edificio, las ayudas económicas existentes han propiciado que se mejore la eficiencia energética de los mismos. En las actuaciones privadas se observa que en la mayoría de casos se rehabilita del mismo modo, independientemente de la tipología edificatoria, orientaciones o localización. Además, son pocos los que aportan un estudio energético en profundidad que permita seleccionar las estrategias más adecuadas. Ante esta falta de reflexión, se evalúa la mejora que supone la actuación con criterios de eficiencia energética en la fachada de un edificio de viviendas de los años 60, mediante la incorporación de aislamiento térmico valorando distintas soluciones constructivas, variando sus espesores y su colocación con respecto a la fábrica original (exterior y en la cámara). Se analiza la mejora energética, mediante simulación (software Design Builder), y el coste económico, mediante la metodología "Coste de Ciclo de Vida", en el que se calcula no sólo la inversión inicial sino también los costes durante la vida del edificio (ahorros energéticos, costes de mantenimiento, etc.). Los resultados muestran que si bien el sistema de aislamiento por el exterior (SATE) desde el punto de vista energético es el óptimo, según el espesor de aislamiento utilizado, la inversión puede no ser rentable. Para espesores de aislamiento iguales o inferiores a 6 cm (solución más adoptada en Madrid) no es rentable. Como conclusión, este estudio muestra la necesidad de adoptar una visión holística en la rehabilitación incorporando la perspectiva del ciclo de vida, para poder elegir las soluciones más eficientes en cada caso.

Palabras clave: Rehabilitación, sostenibilidad, eficiencia energética, coste de ciclo de vida (CCV).

Key words: Renovation, sustainability, energy efficiency, life cycle cost (LCC).

(1) Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid (2) Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Quito (Ecuador). E: enekojokin.uranga@ehu.es

Introducción

En el conjunto de la Unión Europea, el sector de la construcción es responsable del 40% del consumo total de energía y del 36% de las emisiones de dióxido de carbono. En España, las viviendas representan un 17% del consumo de energía final y un 25% de la demanda de energía eléctrica¹. Debido a la actual crisis económica, el sector de la construcción ha reducido drásticamente su producción, habiendo caído en torno a un 85% respecto a 2006 y dejando más de 3.500.000 de viviendas vacías. Las predicciones de población del Instituto Nacional de Estadística (INE) muestran ya un débil crecimiento de un millón de residentes en España entre 2010 y 2020, y pronostican una estabilización de la población para el horizonte 2050. Por lo tanto, si España quiere cumplir con los objetivos 20-20-20, es necesario reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂ del parque existente.

Desde 2008 también se han promovido diversos planes económicos con el fin de incentivar la rehabilitación privada. En un estudio previo, se han analizado los proyectos subvencionados por la Empresa Municipal de Vivienda y Suelo de Madrid en el período 2010-2012, para identificar las principales estrategias de rehabilitación aplicadas actualmente. Los resultados muestran que se actúa mayoritariamente sobre elementos puntuales de la envolvente, siendo muy pocos los casos en los que se opta por la rehabilitación integral. La cubierta es el elemento que más se ha rehabilitado (84%), seguido de la fachada (62%); los huecos, sin embargo, sólo representan el 23%. En cuanto a las soluciones constructivas utilizadas en fachada, se observa poca variedad, rehabilitándose en la mayor parte de los casos mediante un sistema de aislamiento por el exterior (SATE), variando el espesor del aislamiento entre 4 y 6 cm, siendo este último el más representativo.

El objetivo del presente trabajo es analizar las estrategias actuales de rehabilitación desde el punto de vista energético y económico. Para ello, se estudia la rehabilitación de la fachada de un edificio de viviendas de los años 60 en Madrid.

Descripción del caso de estudio

El edificio seleccionado se sitúa en el barrio de Aluche, un barrio periférico al suroeste de Madrid, construido durante los años 60 y 70 por grandes promociones de iniciativa privada. Se trata de un edificio construido en 1966, de renta limitada, compuesto por dos bloques de vivienda adosados, de doble crujía, de 5 alturas y con viviendas en planta baja. Las fachadas son de ladrillo cara vista rojo con el frente de forjado visto y pintado de blanco. La estructura es de muros de carga, paralelos a fachada. Ésta, como se observa en la figura 1, está compuesta por 1 pie de ladrillo macizo cara vista al exterior, cámara de aire de 5 cm y ladrillo hueco sencillo al interior. Por último lleva un enlucido de yeso.

Estudio del comportamiento energético del edificio y planteamiento de estrategias

La transmitancia térmica de la fachada, 1,30 W/m²K, dista significativamente de los límites exigidos por el Código Técnico de la Edificación, que para la ciudad de Madrid el CTE (2009) establecía el límite de 0,66 W/m²K, mientras que la versión actual la limita en 0,60 W/m²K. Con el fin de poder caracterizar la envolvente y estudiar sus deficiencias energéticas se ha realizado un estudio termográfico.

Introduction

In the European Union building sector is responsible of 40% of the total energy consumption and 36% of the CO₂ emissions. In Spain, housing represents 17% of the final energy consumption and 25% of the electricity demand¹. Due to the current economic crisis, building sector has dramatically reduced its production, decreasing almost 85% compared to 2006. Now there are approximately 3.500.000 empty houses. The predictions of the National Statistics Institute (INE) show a weak growth of one million citizens in Spain between 2010 and 2012. If Spain wants to achieve the "20-20-20" objectives, the reduction of energy consumption and CO₂ emissions of the housing stock is necessary.

Since 2008 several economic programs have been carried out in order to promote private renovation. In a previous work, projects supported by the Madrid Municipal Housing and Land Company (EMVS) in the period 2010-2012 have been analyzed in order to identify energy efficient strategies currently applied. Results show that single elements of the envelope are usually renovated, having very few cases where a deep renovation is carried out. The roof is the most upgraded element (84%), followed by the external walls (62%). Windows, however, only represent the 23%. Regarding the constructive solutions applied in façades, a short range is noted, using in most cases external thermal insulation systems (ETICS), with 4-6 cm insulation thickness.

The aim of the present research is to analyze the current renovation strategies both from an energetic and economic point of view. The renovation of the external wall of a housing block built in the 60s in Madrid has been carried out.

Description of the case study

The selected building is located in Aluche, which is a peripheral district in the southwest of Madrid from the 60s and 70s, built by private developers. The block was built in 1966, and it is composed by 2 detached block, with double-bay structure, 5-story building and with dwellings in the ground floor. Walls are in clinker brick with the slab exposed and painted in white. The structure is made of load-bearing walls parallel to the façade. As it can be observed in figure 1, the walls consist of 24 cm of clinker brick outside, 5 cm air gap and 4 cm hollow brick plastered.

Building energy demand and strategies applied

Thermal transmittance of the wall, 1,30 W/m²K, is far from the limit of the Spanish regulation (CTE) that for Madrid it was established as 0,66 W/m²K, and with the new building regulation (CTE 2013) it is limited to 0,60 W/m²K. A thermographic study has been carried out in order to characterize the walls. As it has seen in the plans, images (figure 2) show that it has not any insulation material and thermal bridges can be observed. Furthermore, it is proved that heating system is individual for each home as there are some heaters turned on while others are turned off.

Energy demand is calculated with the software Design Builder. This programme has been chosen instead of certification tools because it is more precise and each area of the building can be modelled in detail. Moreover, the simulation is done in dynamic regime. Energy performance of the building is summarized in figure 3, presenting heat



Como ya se observaba en los planos disponibles, en las termografías (figura 2) se puede constatar que la fachada carece de aislamiento y presenta puentes térmicos en todos los forjados. Además, la instalación de calefacción es poco efectiva, ya que gran parte del calor irradiado por los radiadores sale al exterior debido a la falta de aislamiento de la fachada. De este estudio también se puede deducir que la instalación de calefacción es individual, puesto que algunas viviendas la tienen encendida y otras no.

La demanda energética del edificio se calcula con el software Design Builder. La elección de este programa en lugar de las herramientas existentes de certificación y calificación energética, se debe a que este programa es mucho más completo y te permite definir al detalle cada zona del edificio. Además, la simulación se hace en régimen dinámico, por lo que se puede estudiar el funcionamiento del edificio hora a hora si fuese necesario. En la figura 3 se muestran los resultados de la simulación para el estado

losses through the envelope, intern gains and heating and cooling demand. As it can be observed, heat losses are highest in external walls due to the lack of insulation and affect directly to the conditioning demand.

The renovation of the external wall is therefore proposed. As window-wall ratio is approximately 20%, and heat losses are lower, the same solution will be applied in all cases. Is, therefore, proposed to replace existing windows by aluminium frame windows with thermal break. The selected glazing is climalit 4.6.4. External Insulation with a thickness of 6 cm is proposed for the external wall, because it has been one of the most used solutions in Madrid. As the energy requirements are increasingly restrictive, 9, 12 and 15 cm thick insulation solutions have been analysed. Even if nowadays the ETIC system is the most used, cavity wall insulation is also evaluated, because although from an energetic point of view is worst, initial investment cost is lower. Internal insulation is not considered; in addition to

Fig. 1. Plano situación, planta, detalle constructivo e imagen del edificio a rehabilitar.
Situation plan, plan view, detail and image of the building.

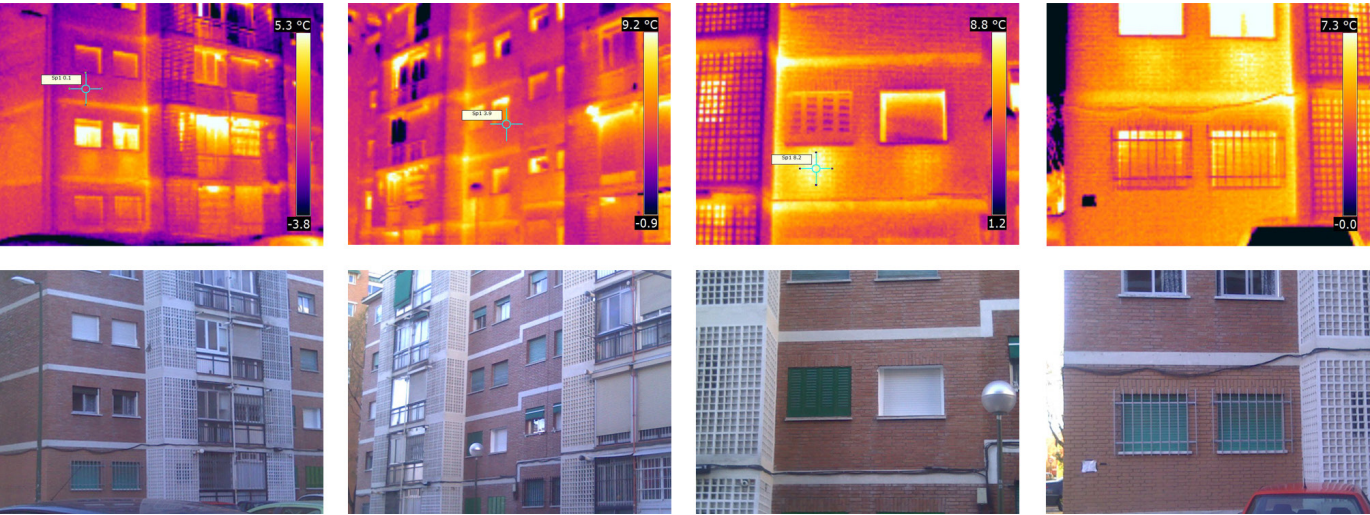
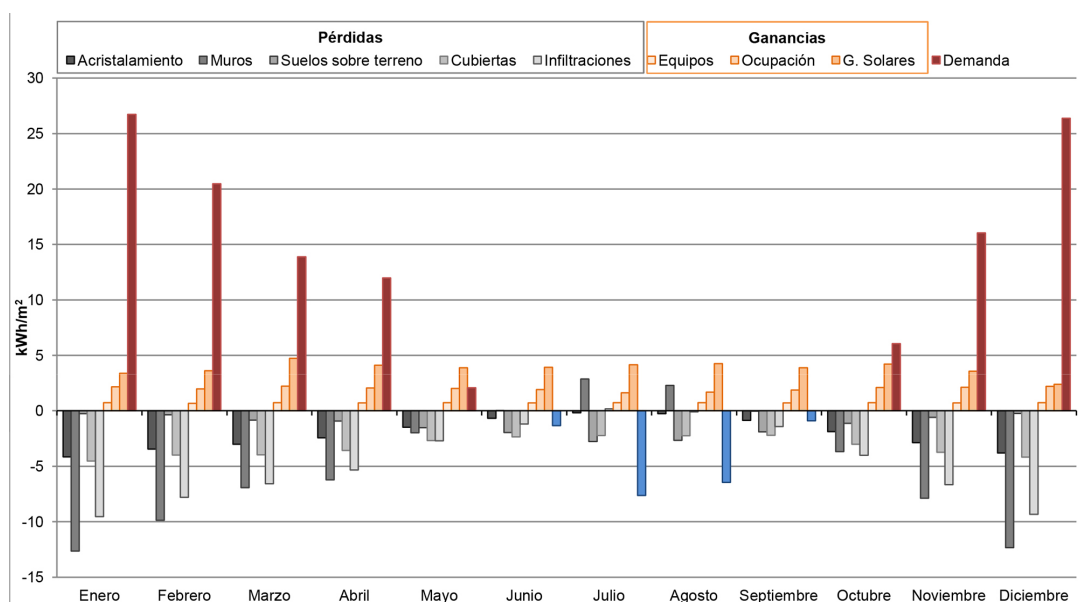


Fig. 2. Estudio termográfico del edificio a rehabilitar.
Thermographic study of the existing building.

Fig. 3. Comportamiento energético del edificio en el estado actual.

Energy performance of the existing building.



actual. El gráfico recoge tanto la demanda de calefacción y refrigeración, como las ganancias y las pérdidas a través de la envolvente para ver la relación de la fachada con el consumo de calefacción o refrigeración. Se puede observar que la fachada es el elemento que mayores pérdidas tiene y que las pérdidas a través de la envolvente debido a la falta de aislamiento inciden directamente en la demanda de calefacción y refrigeración.

Por ello, se propone rehabilitar la fachada del edificio. Dado que en este caso los huecos suponen aproximadamente el 20% de la fachada, y como se observa en la figura 3 las pérdidas son menores, se va a considerar la misma solución para todos los casos. Se propone sustituir las ventanas existentes por carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico con vidrios dobles climatit 4.6.4. En cuanto a la parte opaca se va a evaluar el aislamiento por el exterior con aislamiento 6 cm de espesor, puesto que hasta ahora ha sido el más utilizado en Madrid. Además, y dado que las políticas energéticas cada vez son más restrictivas, se analizan sistemas SATE con espesores de aislamiento de 6, 9, 12 y 15 cm. Pese a que el sistema SATE es el más extendido en la actualidad se incluye en el presente estudio la inyección de aislamiento térmico en la cámara existente, puesto que es un sistema inicialmente más económico, si bien desde el punto de vista energético es peor, puesto que no solucionan los puentes térmicos. El aislamiento por el interior no se tiene en cuenta, porque además de los problemas térmicos que puede acarrear, estas viviendas son de superficies reducidas y la incorporación del aislamiento por el interior implicaría reducir la superficie útil de las viviendas.

Estudio energético de las estrategias de rehabilitación

En la figura 4 se muestra la mejora que supone queda una de las medidas de rehabilitación estudiadas. Si bien al incorporar 5 cm de aislamiento en cámara reduce notablemente la demanda, a medida que aumentamos el aislamiento la reducción es menor. Aún así el sistema SATE presenta claramente mejores resultados que el relleno de la cámara de aire.

Considerando los datos anuales, la reducción de la demanda oscila entre un 14%, para el caso de relleno de cámara, y un 43% para el caso de añadir 15 cm de aislamiento por el exterior (Fig. 5).

the thermal difficulties, the incorporation of the insulation inside the house would reduce floor area.

Energy assessment of the renovation strategies

Figure 4 shows the improvement of each renovation action. While there is a high decrease of energy demand when adding insulation in cavity wall, as increasing insulation, the reduction rate decreases. Nonetheless, ETIC systems present better results than cavity wall insulation. According to the annual results, energy demand reduction ranges from 14% to 43%; this corresponds with cavity wall insulation and 15 cm thick insulation respectively (fig. 5).

Life cycle of the renovation (LCC)

Nowadays, when an energy efficient renovation is carried out in Spain, only energy savings are considered. Sometimes, investment cost and payback periods are also calculated. Life cycle cost, however, is rarely assessed. Durability of materials, maintenance and renovation are thus not taken into account. In addition to the energy assessment, the life cycle cost has been calculated for the selected strategies, in order to identify the most efficient. Life Cycle Cost (LCC) is the current value of the future cash flows of a building project over its entire life cycle. The current standard regulation is UNE-EN 15634-4:2012².

According to this standard, the following points should be defined in order to carry out the LCC:

Definition of the goal and scope

The objective of this assessment is to compare the economic behaviour of the selected retrofit measures, comparing not only the investment cost but also the impact of the maintenance, substitution or renovation during the lifespan of the building. System boundaries are therefore investment cost and use stage.

The functional equivalent is 1 m² of floor area, as it has been done in the energy calculations. The lifespan is calculated with the Spanish standard ECO/805/2003³, which establish a lifespan of 100 for residential buildings. A 53 years lifespan is considered because the building is from 1966 and the renovation of the facade will not prolong lifespan.

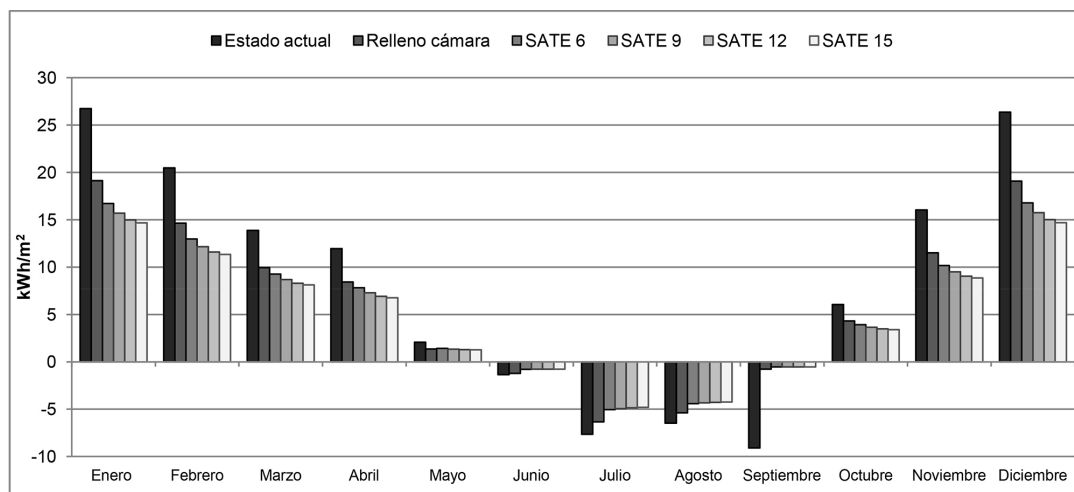


Fig. 4. Comparación de la demanda energética de calefacción y refrigeración mensual del estado actual del edificio con las alternativas de rehabilitación propuestas.

Monthly heating and cooling energy demand comparison between the existing building and the alternatives proposed.

	Estado actual	R. Cámara	SATE 6	SATE 9	SATE 12	SATE 15
DEMANDA TOTAL	139,98	102,14	89,85	84,67	81,06	79,49

Fig. 5. Demanda anual del edificio en el estado actual y tras aplicar las estrategias de rehabilitación seleccionadas.

Annual energy demand of the existing building and the renovation with selected strategies.

Estudio económico de las soluciones propuestas durante el ciclo de vida (LCC)

Actualmente, cuando se habla de rehabilitación energética o se realiza un proyecto de estas características en España, sólo se habla del ahorro energético que supone una solución u otra. En algunas ocasiones, se habla del coste de inversión y del periodo de amortización de la inversión. Pero no se habla del coste económico durante la vida útil del edificio. Por lo tanto, no se tiene en cuenta la durabilidad, el mantenimiento y la rehabilitación o sustitución durante los sistemas. Para poder determinar qué sistema es más eficiente, además del estudio energético realizado, se ha realizado una comparación de las cinco soluciones durante la vida del edificio. En análisis del coste del ciclo de vida (LCC) es el análisis del valor actual de los flujos financieros de un proyecto inmobiliario durante su ciclo de vida útil económica futura. La norma que lo regula España es la UNE EN 15634-4:2012².

Para poder realizar el análisis es necesario definir los siguientes puntos que establece la norma:

Definición de objetivos y alcance

El objeto de la evaluación es analizar y comparar el comportamiento económico de las estrategias de rehabilitación seleccionadas, comparando no sólo la inversión inicial, sino que también la repercusión que tiene el mantenimiento y la sustitución o rehabilitación durante la vida útil del edificio. Por ello, los límites del sistema abarcan la inversión inicial y la fase de uso.

El equivalente funcional en este caso se considera 1m² de superficie útil, tal y como se ha hecho en el estudio energético. La vida útil del edificio se calcula con la Orden ECO/805/2003³ que establece la vida útil máxima de un edificio residencial en 100 años. Dado que se trata de un edificio de 1966 en el que sólo se va a actuar en la fachada, considero que no se alarga la vida útil del edificio. Se considera, por tanto, una vida útil de 53 años.

Análisis de inventario

Para realizar el coste de ciclo de vida hay que sumar los costes iniciales, y los costes durante la vida útil del edificio, que se calcularán mediante el Valor Actual Neto^{4,5}, que es

Inventory analysis

The total life cycle cost of a house comprises the costs of construction, and use stage. The latter will be calculated using Net Present Value approach^{4,5}, which requires that all future costs are discounted to their present-value equivalent, and are calculated according to the equation (1).

$$VAN(i, N) = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

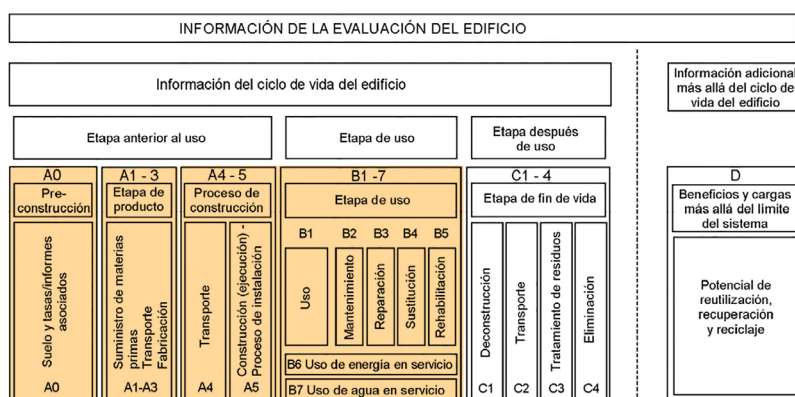
Where: N: lifespan; t: year; C_t: cash flows; r: discount rate.

Investment costs include actual building cost, the fees, the VAT, municipal tax on building, etc. Moreover, subsidies given by the EMVS in the sustainability program 2010-2012, that range from 3.000 to 6.000 €/dwelling, are included as incomes, in order to see the influence of the financial supports. During the use stage, maintenance, renovation and reparation costs are taken into account. Energy savings are considered annual incomes, actualized to each year. 3.5 % discount rate is considered.

From the economic point of view, the best solution is the

Fig. 6. Módulos de información aplicados a la evaluación económica del edificio².

Information modules applied to the economic assessment.



NOTA 1 Para la evaluación económica, la etapa de producto incluye la evaluación de los costes de pre-construcción así como las tasas de proyecto, etc. y el valor del suelo.

el valor presente de la diferencia entre los flujos de caja futuros, tanto positivos como negativos, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN(i, N) = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Donde: N: vida útil; t: año; C_t: flujos de caja; r: tasa de descuento.

Los costes iniciales abarcan el coste de ejecución material, los honorarios, el IVA, el impuesto del ayuntamiento por obras, etc. Además se incluyen como ingresos las subvenciones que daba la EMVS en el programa 2010-2012, que oscilaban entre 3.000 y 6.000€ por vivienda en función de la mejora obtenida, para ver cómo influyen las ayudas económicas en el balance. Durante la fase de uso, se consideran los costes de mantenimiento reparación y sustitución. El ahorro energético debido a la medida de rehabilitación implantada se introduce como ingreso anual, actualizado a cada año. La tasa de descuento considerada es de 3,5 %.

Desde el punto de vista económico, la mejor solución es aquella que tenga un mayor Valor Actual Neto. Cuando el resultado es negativo, significa que dicha inversión no es rentable. En este caso, se observa que la solución de SATE con 6 cm de espesor, que es la más utilizada en Madrid actualmente, en este caso no se rentabiliza en todo el ciclo de vida. Esto puede ser debido a que el alto coste de inversión inicial y el mantenimiento que requiere una fachada con revoco exterior, frente a una fachada de ladrillo cara vista, sea superior a los ahorros energéticos anuales.

Fig. 5. Demanda anual del edificio en el estado actual y tras aplicar las estrategias de rehabilitación seleccionadas.

Annual energy demand of the existing building and the renovation with selected strategies.

	R. Cámara	SATE 6	SATE 9	SATE 12	SATE 15
Valor Actual Neto	75,28	-8,63	19,48	28,54	21,68

En este caso, el relleno de cámara es el más rentable desde el punto de vista económico. En cuanto a los sistemas SATE, el más rentable es el de 12 cm. En esto influye también que la subvención obtenida depende del grado de mejora y que para la solución de 12 y 15 cm es mayor que para 6 y 9 cm.

Si consideramos los resultados energéticos y económicos, el relleno de cámara y el SATE de 12 cm son las mejores opciones. Entrando más en detalle, el primer caso supone una reducción de la demanda del 14%, frente al 42% que supone el segundo. Por lo tanto, a pesar de que éste tenga un balance económico peor el ahorro energético es mucho mayor. En este caso, la solución óptima sería el SATE de 12 cm.

Conclusiones

Actualmente la rehabilitación se analiza sólo en términos de ahorros energéticos y emisiones de CO₂. En muchos casos se incluye el coste de inversión y el periodo de amortización de manera simplificada, sin considerar los flujos de caja durante la vida del edificio. Para este edificio, la rehabilitación con sistemas de aislamiento por el exterior (SATE) con espesores de aislamiento igual o inferiores a 6 cm no es rentable, por lo que no se amortiza jamás.

Visto los resultados, es necesario evaluar la rehabilitación de viviendas desde una perspectiva más holística,

one with higher NPV. If the result is negative, the investment becomes unprofitable. In this case, the 6 cm-thick ETICS solution, which is the most usual in Madrid, is unprofitable. This can be because of the high invest cost and high maintenance cost of a plastered facade compared with a clinker brick facade. The cavity wall insulation is here the most profitable investment. Among ETICS systems, 12cm-thick insulation solution is the most cost-effective. This is affected by the subsidies, which depend on the degree of improvement, and that is higher for 12 and 15 cm-thick solutions than for 6 and 8 cm-thick ones.

ETICS 12 cm-thick insulation and cavity wall insulation are the best options. For the energy savings, they are 42% and 14% respectively. Even if the economic balance is better for the cavity wall insulation, the energy savings are much lower. In this case, ETICS 12 cm-thick would be the optimal solution.

Conclusion

Housing renovation is only analyzed in terms of energy savings and CO₂ emissions reductions. Sometimes, investment cost and payback period are also calculated, while durability maintenance and renovation of materials are rarely taken into account. For this building, adding 6 cm or less of external insulation becomes unprofitable. This solution is the most common solution in Madrid.

In view of the results achieved, housing energy efficient renovation should be assessed from a more holistic approach, considering the entire life cycle of the building. Durability of materials, maintenance, renovation and reparation are currently not taken into account and can play a role in the selection of the optimal strategies.

considerando el ciclo de vida del edificio. Datos como durabilidad de los materiales, mantenimiento, reparación, y reposición actualmente no se tienen en cuenta y pueden repercutir en la elección de las soluciones óptimas.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY:

1. Cuchí A, Sweatman P. Informe GTR 2012. Una visión-país para el sector de la edificación en España. Plan de acción para un nuevo sector de la vivienda. <http://www.gbce.es/archivos/ckfinderfiles/GTR/INFORME%20GTR%202012.pdf>. (Último acceso 30/05/14).
2. UNE-EN 15643-4:2012 Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico.
3. Ministerio de Economía. Orden ECO/805/2003, de 27 de marzo, sobre normas de valoración de bienes inmuebles y de determinados derechos para ciertas finalidades financieras. BOE núm 85. 2003.
4. Marszal AJ, Heiselberg P. Life cycle cost analysis of a multi-storey residential net zero energy building in Denmark. *Energy*. 2011;36(9):5600-5609.
5. Morrissey J, Horne RE. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. *Energy Build*. 2011;43(4):915-924.

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea